UNIVERSITÀ DI PISA

ROBOTICA PER CHIRURGIA E PER RIABILITAZIONE

MARCO CONTROZZI

Anno accademico	2018/19
CdS	INGEGNERIA BIOMEDICA
Codice	718II
CFU	12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE	ING-INF/06	LEZIONI	60	MARCO CONTROZZI
ROBOTICA MEDICA	ING-INF/06	LEZIONI	60	GASTONE CIUTI

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze

Al termine del corso di ROBOTICA PER CHIRURGIA E PER RIABILITAZIONE l'allievo avrà acquisito ampie conoscenze relative alla robotica medica nel campo della chirurgia e della riabilitazione. Il corso si compone di due moduli: BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (docente: Marco Controzzi) e ROBOTICA MEDICA (docente: Gastone Ciuti).

BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (Marco Controzzi)

- Conoscere i requisiti e le specifiche delle principali protesi di arto, macchine per la riabilitazione motoria e ausili per la mobilità.
- Condurre e discutere una verifica e un progetto di ausili, protesi e macchine per la riabilitazione.
- Saper impostare un progetto di macchina nell'ambito dell'ingegneria della riabilitazione.
- Sapere eseguirne la verifica a fronte delle più comuni esigenze sia di funzionalità sia di resistenza alla rottura od al deterioramento.
- Sapere scegliere razionalmente i principali materiali, organi di collegamento e componenti meccanici e sapere proporzionare questi ultimi in base a condizioni operative specificate.
- Conoscere e saper applicare le normative di riferimento e le linee guida per la progettazione di un dispositivo medico.

ROBOTICA MEDICA (Gastone Ciuti)

- Conoscere in maniera critica l'evoluzione che la robotica medica ha subito negli ultimi anni con una forte contestualizzazione alle innovazioni e alla tecnologie abilitanti che hanno caratterizzato e contribuito ad ogni significativo salto tecnologico.
- Conoscere i requisiti funzionali e le specifiche dei principali dispositivi e delle principali macchine operanti nel settore della robotica medica con particolare attenzione alle piattaforma robotiche per chirurgia.
- Conoscere e saper discutere relativamente alle differenti macchine di robotica medica, classificandole e conoscendone le principali caratteristiche funzionali, con una particolare attenzione rivolta ai sistemi di chirurgia assistita al calcolatore (Computer-Assisted Surgery – CAS).
- Conoscere e saper applicare concetti fondamentali di robotica e calcolo cinematico, con relative formulazioni, applicate e contestualizzate alle macchine operanti nel campo della robotica medica.
- Conoscere e saper applicare concetti di calibrazione robotica mediante formulazioni e processi di ottimizzazione, fondamentali nel contesto della robotica chirurgica assistita al calcolatore.
- Conoscere e saper applicare concetti di *imaging* medicale, a partire dalla macchine utilizzate per diagnostica medica fino alle tecniche di elaborazione dell'informazione, segmentazione e registrazione.
- Conoscere in maniera critica e contestualizzata le nuove frontiere della robotica medica, a partire dalla robotica collaborativa, organi artificiali e sistemi bionici, fino a dispositivi e tecniche di chirurgia focalizzata in scala micro/nano-metrica.
- Apprendere e conoscere il linguaggio di programmazione National Instrument LabVIEW per lo sviluppo di software di acquisizione e analisi dati da sensori, controllo di attuatori e tecniche di imaging medicali.

Saper impostare un progetto di macchina nell'ambito della robotica medica sapendo discutere ed analizzare i principali componenti caratterizzanti con chiaro impatto verso la futura industrializzazione e sfruttamento commerciale (analisi di mercato e piano di sfruttamento).

Modalità di verifica delle conoscenze

BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (Marco Controzzi)

L'esame si articola in una prova pratica scritta e ed in una prova orale. La prova pratica scritta consisterà nello studio di un semplice gruppo meccanico di un dispositivo e nella verifica di alcune sue parti. La prova orale riguarderà la padronanza degli argomenti del programma ufficiale del corso ai fini di una loro pratica applicazione in comuni problemi di progettazione nell'ambito dell'ingegneria della riabilitazione.

ROBOTICA MEDICA (Gastone Ciuti)

L'esame si articola in una prova scritta e in una prova orale. La prova scritta consisterà nel risolvere alcuni quesiti e rispondere a domande a

risposta aperta e multipla relativamente agli argomenti trattati nel corso, *e.g.* classificazione e funzionalità di robot per applicazioni mediche, elaborazioni di immagini e tecniche di calibrazione e registrazione. La prova orale riguarderà la valutazione della padronanza degli argomenti del programma ufficiale del corso ai fini di una loro pratica applicazione in comuni problemi di progettazione nell'ambito della robotica medica. Durante l'orale, il candidato presenterà un progetto relativo ad una nuova idea di dispositivo medicale (hardware e/o software), trattando aspetti tecnici e finanziari verso un possibile sfruttamento commerciale.

Capacità

BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (Marco Controzzi)
L'obiettivo del corso è quello di fornire un quadro sintetico del processo di progettazione, dall'analisi delle esigenze fino alla progettazione concettuale, concreta e di dettaglio nell'ambito dell'ingegneria della riabilitazione. Fornire un panorama aggiornato della componentistica meccanica e dei relativi approcci di scelta e dimensionamento. Fornire un quadro completo ed aggiornato circa il comportamento meccanico dei materiali, i fenomeni che ne determinano il deterioramento o la rottura, i principali modelli per l'analisi e per la verifica della resistenza. Fare acquisire la capacità di:

- Passare dalla realtà concreta a schemi idonei per il calcolo di dimensionamento o di verifica di parti strutturali, di collegamenti e di componenti meccanici con particolare attenzione alle macchine per la riabilitazione, ausili e protesi;
- Scegliere i componenti meccanici più comuni in rapporto al tipo di applicazione nell'ambito della bioingegneria;
- Applicare correttamente la normativa tecnica, almeno per ciò che riguarda le principali norme valide in questo settore.

ROBOTICA MEDICA (Gastone Ciuti)
Il corso si propone di illustrare le problematiche fondamentali che si incontrano nella progettazione, nella fabbricazione e nell'utilizzo di sistemi robotici e meccatronici nel campo della robotica medica e con particolare enfasi sulla chirurgia robotica. Lo scopo principale del corso consiste nel descrivere le principali macchine per chirurgia robotica e fornire tutte le conoscenze per la progettazione di sistemi per la chirurgia minimamente invasiva, per la chirurgia assistita da calcolatore e per altre applicazioni mediche. Alcuni degli argomenti trattati sono: architetture e strategie di controllo di piattaforme robotiche computer-assistite con enfasi sull'acquisizione ed elaborazione delle immagini mediche e dei segnali biomedici (aspetti teorici, programmazione National Instrument LabVIEW ed applicazioni specifiche in chirurgia robotica). Il corso si propone di fare acquisire allo studente la capacità di progettare in maniera critica e completa piattaforme robotiche nel campo della medicina partendo dalla conoscenza delle piattaforme e dai dispositivi robotici commerciali e di ricerca.

Modalità di verifica delle capacità

BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (Marco Controzzi)
Al termine del modulo attraverso la prova pratica (la quale consisterà nello studio di un semplice gruppo meccanico di un dispositivo e nella verifica di alcune sue parti).
ROBOTICA MEDICA (Gastone Ciuti)
Al termine del modulo attraverso le due prove, scritto ed orale, le quali garantiranno al docente di comprendere se lo studente ha appreso tutti gli argomenti relativi al corso di studio e il relativo metodo di progettazione di una piattaforma robotica per applicazioni di chirurgia.

Comportamenti

BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (Marco Controzzi)

- Accuratezza e precisione nello svolgere attività di definizione e analisi di un problema tecnico
- Lo studente potrà acquisire e/o sviluppare sensibilità verso la schematizzazione della realtà in modelli idonei per il calcolo di dimensionamento

ROBOTICA MEDICA (Gastone Ciuti)
Lo studente acquisirà un metodo scientifico e rigoroso per progettare in maniera critica e completa piattaforme robotiche nel campo della medicina partendo dalla conoscenza delle piattaforme commerciali e di ricerca e dai principi di base e dalle tecnologie che caratterizzano tali sistemi.

Modalità di verifica dei comportamenti

Al termine del modulo attraverso la prova orale (la quale consisterà nella discussione della prova scritta e temi del programma).

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (Marco Controzzi)
Dai corsi di Matematica e Fisica:
Conoscere i metodi matematici fondamentali. Non avere esitazioni circa lo studio delle condizioni di equilibrio sia statico sia dinamico di un punto. Sapere usare correttamente i sistemi di unità di misura
Da Scienza dei materiali:
Conoscere le proprietà meccaniche dei comuni materiali metallici da costruzioni.
Da Meccanica e Elementi Costruttivi:
Non avere esitazioni nel risolvere problemi di statica del corpo rigido, anche nello spazio. Saper risolvere semplici problemi di statica e, ove applicabili, di dinamica di sistemi di corpi vincolati. Sapere analizzare correttamente semplici strutture (es.: telaio di travi) o dispositivi meccanici (es.: riduttore ad ingranaggi)
ROBOTICA MEDICA (Gastone Ciuti)
Dai corsi di matematica e fisica: conoscere i metodi matematici ed algebrici fondamentali. Non avere difficoltà nello svolgere studi delle

condizioni di equilibrio sia statico sia dinamico di un punto. Sapere usare correttamente e conoscere i sistemi di unità di misura.
Da Scienza dei materiali: conoscere le proprietà meccaniche dei comuni materiali metallici da costruzioni.
*Da meccanica e elementi costruttivi: n*on avere esitazioni nel risolvere problemi di statica del corpo rigido, anche nello spazio. Saper risolvere semplici problemi di statica e, ove applicabili, di dinamica di sistemi di corpi vincolati. Sapere analizzare correttamente semplici strutture (es.: telaio di travi) o dispositivi meccanici (es.: riduttore ad ingranaggi)
Inoltre si richiede la conoscenza dell'analisi dei segnali biomedici e della cinematica (diretta ed inversa) di manipolatori robotici.

Programma (contenuti dell'insegnamento)

BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (Marco Controzzi)
Introduzione al corso. Definizione di ingegneria della riabilitazione. Obiettivi del corso. Contenuti del corso. Metodo. Libri di riferimento e materiale didattico. Esame.
(L: 1, E: 0)
Fondamenti di costruzione di macchine biomediche. Approccio alla progettazione. Risoluzione dei problemi di costruzione di macchine. Richiami di scienza dei materiali. Richiami di tecnica delle costruzioni. Verifiche principali nel progetto di costruzioni di macchine. Coefficiente di sicurezza e affidabilità. Verifiche di resistenza: forme di cedimento e criteri di equivalenza, concentrazione delle tensioni, resistenza dei contatti conformi e non conformi. Verifica in caso di urti. Verifiche di rigidezza. Verifiche di durabilità : introduzione alla fatica nei componenti delle macchine, usura e danneggiamento superficiale nei contatti. Coazione di più forme di danneggiamento. Dimensionamento e verifica dei principali elementi di macchina in relazione alla ingegneria della riabilitazione (collegamenti con bulloni, viti mordenti, elementi elastici, cuscinetti volventi e radenti, elementi di trasmissione).
(L: 30, E: 8)
Progettare per l'uomo e per il disabile. Disabilità, Handicap e menomazioni. Il processo riabilitativo. Cenni di ergonomia e di progettazione universale. Modello HAAT. Richiami sul quadro normativo di riferimento. La specifica tecnica. Esempi di progetto e verifica di ausili, protesi e macchine per la riabilitazione (simulazione d'esame). Protesi di arto. Ausili. Macchine per la riabilitazione.
(L: 15, E: 6)
ROBOTICA MEDICA (Gastone Ciuti)
Numero totale di ore in cui si sviluppano nuovi argomenti (L): 44 Numero totale di ore in cui si svolgono esemplificazioni ed esercitazioni (E): 16. Numero totale di ore: 60. Alcuni argomenti del corso sono:

- Introduzione al corso: robotica medica e storia della chirurgia (L: 3, E: 0)
- Chirurgia minimamente invasiva (MIS, tecniche SILS e NOTES (L: 2, E: 0)
- Chirurgia assistita al calcolatore (CAS): classificazione ed esempi principali di piattaforme robotiche CAS in applicazioni medicali (L: 5, E: 0)
- Sistemi robotici, cinematica, controllo e metodi di calibrazione (L: 9, E: 6)
- Robot medicali teleoperati - daVinci e altre piattaforme robotiche teleoperate (L: 2, E: 0)
- Imaging medicale: acquisizione, elaborazione, segmentazione e ricostruzione 3D (L: 5, E: 0)
- Localizzatori e tecniche di registrazione in procedure robotiche con *imaging* medicale (L: 3, E: 0)
- Robotica collaborativa: una nuova frontiera verso la cooperazione uomo-macchina (L: 2, E: 0)
- Navigatori e robot medicali hand-held (L: 2, E: 0)
- Robot medicali autonomi – *g.,* RoboDOC e CyberKnife (L: 3, E: 0)
- Esercitazioni in National Instrument LabVIEW su controllo, data sensing, toolbox robotico e di elaborazione di immagini (L: 0, E: 10)
- Organi artificiali e sistemi bionici (L: 2, E: 0)
- Tecnologie mediche per la terapia focalizzata con dispositivi in scala micro e nanometrica (L: 3, E: 0)
- Incontro con industriali e descrizione del processo "dal prototipo al prodotto" (L: 3, E: 0)

Bibliografia e materiale didattico

BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (Marco Controzzi)

- Dispense e materiale fornito dal docente. Il materiale fornito è necessario per avere un quadro introduttivo alla materia.
    1. Per gli argomenti nella sezione *Fondamenti di costruzione di macchine biomediche* indispensabile un libro a scelta tra: Juvinall e Marshek Fondamenti della progettazione dei componenti delle macchine Ed. ETS, Pisa, qualsiasi edizione (anche inglese). In alternativa: Shigley, Joseph Edward, et al. *Progetto e costruzione di macchine*. McGraw-Hill, qualsiasi versione; In alternativa: Antonio De Paulis - Enrico Manfredi, Costruzione di macchine: Criteri di base e applicazioni principali•, Ed. Pearson Italia, Milano.
    2. Per gli argomenti nella sezione *Progettare per l'uomo e per il dosabile* consultare all'occorrenza Cooper Rehabilitation Engineering Applied to mobility and Manipulation•.

ROBOTICA MEDICA (Gastone Ciuti)
Dispense, capitoli selezionati di libri, slide fornite dai docenti. Il materiale necessario allo studio del corso sarà disponibile sul sito web dedicato al corso di Robotica medica. I libri indicati e consigliati per l'apprendimento del corso ed approfondimento sono:

- Bruno Siciliano and Oussama Khatib. **Springer Handbook of Robotics**. Seconda Edizione. Springer, 2016.
- Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. **Elaborazione delle immagini digitali**. Terza Edizione. Pearson Prentice Hall, 2008.
- Lorenzo Sciavicco, Bruno Siciliano, Luigi Villani and Giuseppe Oriolo. **Robotica: modellistica, pianificazione e controllo di manipolatori**. Terza Edizione. McGraw-Hill, 2008.
- Joseph D. Bronzino and Donald R. Paterson. **The Biomedical Engineering Handbook**. Quarta Edizione. CRC Press, 2015.

UNIVERSITÀ DI PISA

Modalità d'esame

BIOINGEGNERIA DELLA RIABILITAZIONE (Marco Controzzi)
L'esame è composto da una prova pratica scritta e una prova orale.

- La prova scritta consiste nello studio di un semplice gruppo meccanico di un dispositivo e nella verifica di alcune sue parti. Si articola in 6 domande per una durata complessiva di circa 4 ore. Ogni domanda ha un punteggio proprio sulla base della complessità del problema, la somma dei punteggi è sempre 20.
- La prova scritta è superata se lo studente totalizza almeno 10 su 20. Il punteggio viene attribuito secondo i tre criteri seguenti: i) correttezza nell'impostazione, ii) correttezza del risultato, iii) completezza del risultato.
- La prova orale riguarderà la padronanza degli argomenti del programma ufficiale del corso ai fini di una loro pratica applicazione in comuni problemi di progettazione nell'ambito dell'ingegneria della riabilitazione. Durante la prova orale potrà essere richiesto al candidato di risolvere anche problemi/esercizi scritti, davanti al docente. Il colloquio ha una durata di circa 40 min.
- La prova orale è superata se il candidato risponde correttamente a circa i 2/3 delle domande poste. La valutazione dell'orale viene attribuita secondo i due criteri seguenti: i) correttezza delle risposte e ii) padronanza del linguaggio.

ROBOTICA MEDICA (Gastone Ciuti)
L'esame si articola in una prova scritta e in una prova orale. La prova scritta consisterà nel risolvere alcuni quesiti e rispondere a domande a risposta aperta e multipla relativamente agli argomenti trattati nel corso, *e.g.* classificazione e funzionalità di robot per applicazioni mediche, elaborazioni di immagini e tecniche di calibrazione e registrazione. La prova scritta si articola in circa 10/12 domande per un punteggio totale di 15 punti e la durata dell'esame di circa 2 ore (prova superata se si raggiunge il punteggio di 9). La prova orale riguarderà la valutazione della padronanza degli argomenti del programma ufficiale del corso ai fini di una loro pratica applicazione in comuni problemi di progettazione nell'ambito della robotica medica. Durante l'orale, il candidato presenterà un progetto relativo ad una nuova idea di dispositivo medicale (hardware e/o software), trattando aspetti tecnici e finanziari verso un possibile sfruttamento commerciale. Il colloquio ha una durata di circa 30-45 minuti e un punteggio attribuibile di 18 punti (prova superata se si raggiunge il punteggio di 9. Il voto finale risulterà uguale alla somma del voto raggiunto durante la prova scritta e quello ottenuto dalla prova orale.

Altri riferimenti web

Lo studente ha a disposizione il materiale aggiornato nelle cartelle condivise e rese disponibili durante i corsi.

Ultimo aggiornamento 03/10/2018 19:00